מנגנון מורכב לקיפול הגא
Complex Folding Rudder Mechanism

פרויקט תכן מוצר חדש

המנחה: ד"ר צבי פרוכטר

יעל מנדלר, שיר דוד, יהודה מואס

הלקוח

אפי הירש

חברת "רפא"ל"

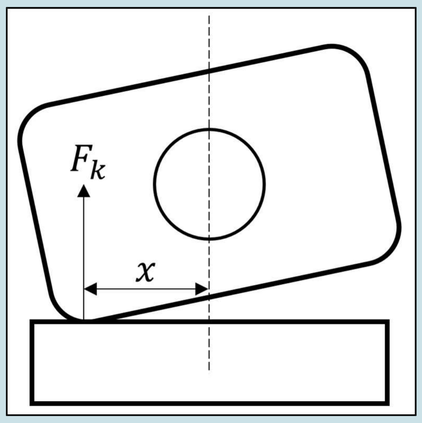
תקציר

- בפרויקט זה תוכנן, עוצב ויוצר מנגנון מורכב לקיפול הגא של מערכת מוטסת, אשר מיועד לנעילת ההגא במצב מקופל בעת חיבור לפלטפורמה נושאת. בכל אחד מהמצבים השונים של ההגא - פרוש ומקופל, עליו להיות נעול ולא לעבור בין המצבים באופן לא רצוני. כמו כן, על המנגנון לאפשר את תנועתו התקינה של ההגא.
- ייחודיות המנגנון טמונה ביכולת ההגא להתקפל לשני צדדים שונים, לפי בחירת המתקין, כך שניתן להתקינו על הפלטפורמה הנושאת בהתאם לדרישה בעת ההתקנה. כיום, ישנן מערכות דומות מאפשרות קיפול של ההגאים לאחד מהכיוונים, כאשר כיוון הקיפול חייב להיות ידוע מראש ולכן מהווה הגבלה על תפקוד המערכת ודורש ייצור מערכת נוספת לקיפול לצד השני.

תיאור המערכת

חלופת התכן אשר נבחרה הינה חלופה אשר מתבססת על פרופיל מרובע, אשר מאפשר את קיפול ההגא לשני כיוונים, תוך שימוש בשני מצבי שיווי המשקל של המנגנון:

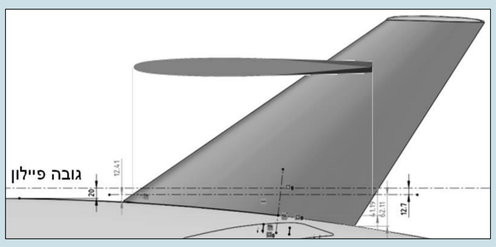
- **מצב מקופל** - המצב בו ההגא מקופל לאחד מצידי המערכת המוטסת.
- **מצב פרוש** - מצב בו ההגא מאונך למערכת המוטסת, לאחר שחרור המערכת מהפלטפורמה הנושאת.



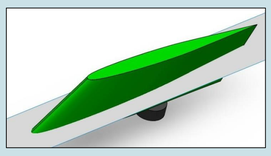
פרישת ההגא ממצבו המקופל מתבצעת באמצעות שימוש באנרגיה המגיעה מסיבוב ההגא סביב ציר הסרוו, ובכך לא פוגעת בבדיקות אשר מבצעים על ההגא בעת שהמנגנון מקופל.

התהליך

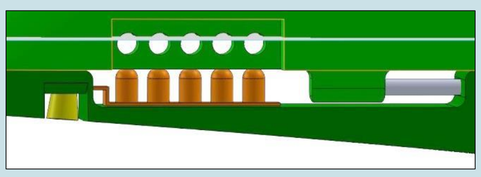
השרטוט שהתקבל מהלקוח,
על מנת לנתח את הבעיה



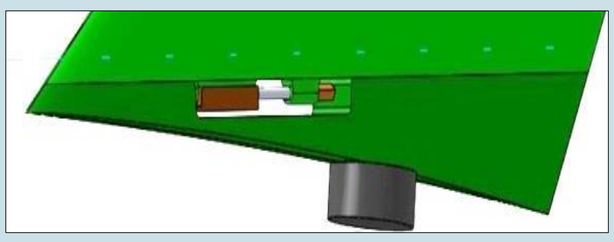
הגדרת שטח העבודה
עבור המנגנון המבוקש.
מתוך שרטוט זה, הועלו
חלופות התכן השונות



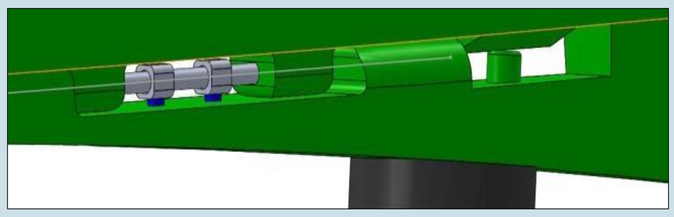
חלופה א' - מתבססת על פיני
נעילה אשר משתלבים בהגא
בשני המצבים העיקריים



חלופה ב' - מתבססת על
מסילת נעילה וקפיץ עלה,
אשר אחראי לסיבוב ההגא



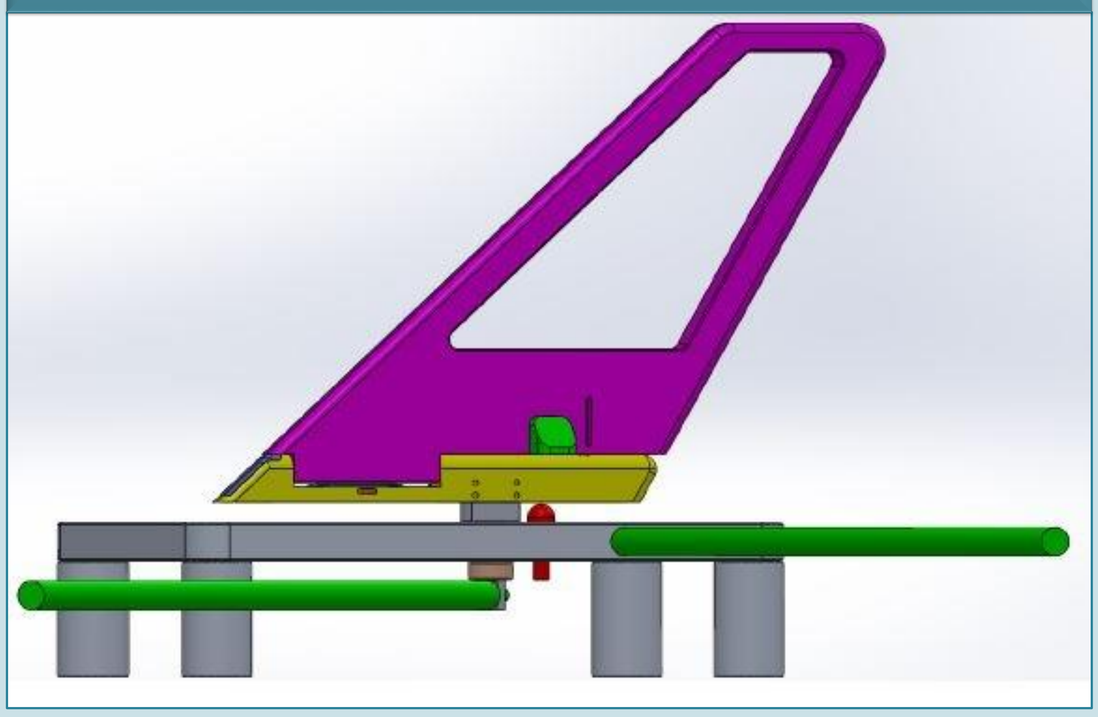
חלופה ג' - מתבססת על
פרופיל מרובע ומצבי שיווי
משקל של המנגנון



החלופה הנבחרת -

לאחר ניתוח החלופות, ובחינת ייתכנות הפתרונות השונים, הוחלט להתמקד ולפתח את חלופה ג'. הכוחות הגדולים הפועלים במהלך תנועת המנגנון, הביאו מספר שינויים בתכן המוצר, ובסופו של דבר נהגה ויוצר המנגנון הנוכחי.

המודל הסופי



דרישות הלקוח ומטרות הפרויקט

מטרת הפרויקט הינה לייצר מנגנון אשר מאפשר קיפול ההגא של מערכת מוטסת לשני הכיוונים, על פי הדרישות כמפורט:

דרישה	גודל
זווית קיפול	$\pm 92°$
נפח המנגנון	ע"פ מידות ההגא
משקל מנגנון הקיפול	2.5 [kg]
משקל כולל	5 [kg]
עומס אווירו' בעת פרישה	10 [kg]
עומס בזמן מעוף חופשי	250 [kg]
מומנט מקסימלי (סרוו)	300 [Nm]
מקדם בטחון פונקציונלי - טיסה קשורה	1.15
מקדם בטחון פונקציונלי - מעוף חופשי	1.1
טווח תנועת ההגא	$\pm 23°$
טווח נפנוף	0.5°
זמן פרישת ההגא	0.4 [sec]
חופש תנועה במצב פרוש	$\pm 0.25°$

אתגרים ואנליזות

האתגר הגדול ביותר בפרויקט זה הוא ניתוח נכון של השפעת הכוחות האווירודינמיים, אשר פועלים על המנגנון בזמן הפתיחה של ההגא. כוחות אלו צריכים להיבלם על ידי המנגנון, ולכן חושב כוח הבלימה:

$$F_{n,o} = 10[kg] = 98[N] \Rightarrow F_{stop} = \frac{J\omega_{critical}}{R_g \cdot \Delta t_{stop}} = \boxed{13971[N]}$$

שטח דרוש לבלימה עבור פלדה עם חוזק כניעה כללי של $\sigma_y = 200[MPa]$:

$$A > \frac{F_{stop}}{\sigma_y} = \boxed{69.8551[mm^2]}$$

בנוסף לאנליזות אלו בוצעו עוד מספר רב של אנליזות על חלקיה השונים של המערכת: חוזק וקוטר מינימלי דרוש לגל(ציר הסיבוב), חוזק וממדי קפיץ העלה, חוזק וקוטר פין הנעילה וכדומה.

תודות

ברצוננו להודות מכל הלב לאנשי המפתח אשר סייעו ופעלו יחד איתנו למען הצלחת הפרויקט:

- **ד"ר צבי פרוכטר**, המנחה שלנו, על העזרה והקדשת הזמן עבור הצלחתו של הפרויקט.
- **אפי הירש**, הלקוח שלנו, על הליווי הצמוד במהלך העבודה, והניסיון לעזור מקצועית ואקדמאית להצלחת הפרויקט.
- **ד"ר חגי במברגר** – אחראי הקורס, **כפיר כהן** – מהנדס מרכז מערכות ייצור ורובוטיקה, **לאה שטרן** – מזכירת מרכז מערכות ייצור ורובוטיקה, **ד"ר ראובן כץ** – אחראי מגמת תכן וייצור.